doi:10.13866/j.azr.2019.03.08

毛乌素沙地不同土地利用类型的土壤粒度及有机质特征①

毛 丽[1]， 苏志珠[2]， 王国玲[1]， 马义娟[3]， 李 想[1]

（1. 山西大学环境与资源学院，山西 太原 030006； 2. 山西大学历史文化学院，山西 太原 030006；
3. 太原师范学院地理科学学院，山西 晋中 030619）

摘 要： 在毛乌素沙地选择半固定沙丘地、留茬地、翻耕地及草地4种土地利用类型，采集土壤表层（0～5 cm）和亚表层（5～10 cm）实验样品，测试并分析粒度和有机质的含量变化及其二者之间的相关性。结果表明：① 留茬地、翻耕地和草地的优势粒级为粉粒（0.002～0.05 mm）。表层土壤粉粒含量草地（61.06%）>留茬地（53.09%）>翻耕地（48.28%）；亚表层为草地（61.25%）>翻耕地（49.43%）>留茬地（48.42%）。半固定沙丘地的优势粒级为细砂（0.1～0.25 mm）。其表层含量52.69%，亚表层含量54.53%。② 土壤有机质含量，表层草地（18.75 $g\cdot kg^{-1}$）>翻耕地（12.53 $g\cdot kg^{-1}$）>留茬地（11.25 $g\cdot kg^{-1}$）>半固定沙丘地（8.13 $g\cdot kg^{-1}$）；亚表层草地（13.36 $g\cdot kg^{-1}$）>留茬地（13.05 $g\cdot kg^{-1}$）>翻耕地（12.67 $g\cdot kg^{-1}$）>半固定沙丘地（7.73 $g\cdot kg^{-1}$）。③ 土壤粒度与有机质的相关性表现为留茬地、半固定沙丘地的有机质与粉粒呈显著正相关，翻耕地有机质与中砂、细砂呈正相关，反映了翻耕地土壤有机质不稳定且易受其他因素影响。

关键词： 土壤粒度；土壤有机质；土地利用类型；毛乌素沙地

土壤有机质是作物所需的各种养料的源泉，能改善土壤的物理和化学性质，有机质含量的增加，能提高土粒间微结构的胶结力和土壤结构体间的抵抗离散力，并增加土壤的抗风蚀能力[1]。一般来说，荒漠化地区土壤有机质附着在土壤细颗粒中形成稳定的团聚体，而砂粒吸附有机质能力较差，受成土母质、生物气候作用以及土地利用变化等因素的影响，沙物质含量较多的土壤易受风蚀，使土壤表层粒度组成发生变化，即富含养分的细颗粒物质被吹蚀，并导致土壤结构性变差[2-3]。随着土壤细颗粒的损失，有机质也随之流失，土壤结构和团粒的稳定性受到破坏，土壤养分含量及有效性降低，最终使土地生产力进一步下降[4]。因此，研究土壤粒度与有机质含量变化及其二者之间的关系，对防治土壤风蚀有重要的现实意义。目前，有关土壤粒度与有机质的关系研究主要集中于河北坝上[5]、科尔沁沙地[2]、呼伦贝尔沙地[6]以及雅鲁藏布江风沙化土地[7]等区域，并取得了显著进展。

毛乌素沙地位于我国农牧交错带中部，区域生态脆弱，是我国京津冀风沙源区沙化土地治理关键技术研究与示范地区之一。该沙地土壤风蚀的研究成果较多，主要集中在沙地表土粒度特征[8]、生物结皮对风蚀的影响[9]、沙地土壤水分变化[10-11]、沙地土壤理化性质[12]、沙地气候因子对风蚀的影响[13]、植被盖度与风蚀量关系[14]等方面的研究，但对不同土地利用类型的土壤粒度组成与有机质对土壤风蚀影响的研究仍有待深入。

由于土壤粒度组成是我国沙漠化监测与评价的重要指标之一，不同粒级组分含量既影响土壤的理化性质，也影响土壤有机质含量变化。为此，本项研究通过野外实地考察、样地选择、实验样品采集及室内测试分析，对毛乌素沙地不同土地利用类型（留茬地、翻耕地、草地、半固定沙丘地）的粒度和有机质特征及其二者之间的相关性进行分析，以期为区域土壤质量评价与管理以及风蚀防治提供基础数据和科学依据。

① 收稿日期：2018-09-06； 修订日期：2019-01-28
基金项目：国家重点研发计划项目“京津冀风沙源区沙化土地治理关键技术研究与示范”第5课题（2016YFC0500805）资助
作者简介：毛丽（1995-），女，硕士研究生，主要研究方向为土壤风蚀
通讯作者：苏志珠. E-mail:suzhizhu@163.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

毛乌素沙地(37°27′~39°22′N,107°20′~111°30′E)地处鄂尔多斯高原东南洼地与陕北黄土高原之间(图1),地势自西北向东南倾斜,包括内蒙古鄂尔多斯市辖区的伊金霍洛旗、乌审旗、鄂托克旗、鄂托克前旗,陕西省榆林市辖的榆阳区、神木县、横山县、靖边县和定边县以及宁夏盐池县东北部[15],沙地总面积约为 4×10^4 km^2。气候区划上属温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温为6.0~8.5 ℃,年平均降水量自东南部的400~450 mm向西北递减为250~300 mm,全年降水量的60%~75%集中在7—9月,春季平均风速3.07 $m\cdot s^{-1}$,最大风速可达20~25 $m\cdot s^{-1}$,年大风日数20~40 d[16]。土壤区划上东部为栗钙土干草原地带,西部属棕钙土半荒漠地带,中部以非地带性的盐碱土、草甸土以及风沙土等占绝对优势,从西北向东南土壤类型从棕钙土过渡为淡栗钙土,再向东南过渡为黄土高原暖温带黑垆土地带,土壤的分布表现出了显著的过渡性特征[16]。植物种类主要有油蒿(*Artemisia ordosica*)、沙柳(*Salix psammophila*)、锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、旱柳(*Salix matsudana*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、马蔺(*Irislactea* var. *chinensis*)、小叶杨(*Populus simonii*)等,旱柳和小叶杨是毛乌素沙地优势的乔木,是该区生态恢复的主要树种[17]。

1.2 研究方法

2017年10—11月,在毛乌素沙地进行野外考察的基础上,选取研究区的留茬地(LC)、翻耕地(FG)、草地(CD)和半固定沙丘地(SQ)4种代表性地类作为研究样地,样地环境状况见表1。其中,留茬地的茬高≥10 cm,翻耕地均为未留茬的裸露农田地,草地的植被覆盖度在60%以上,半固定沙丘地的地表植被以油蒿群落为主。土壤样品采集按照多点采样法进行,即每块样地选取3个样方点,每个样方采样面积20 cm×20 cm。基于土壤风蚀深度考虑,均匀采集表层(0~5 cm)与亚表层(5~10 cm)土壤实验样品,单个样品重量300~500 g,将样品放入自封袋用于测试,使用GPS对每个样地进行定位,并详细记录各样地地表状况与周边环境因素。

土壤粒度采用英国Malvern公司生产的Mastersizer 3000激光粒度仪测定[18]。具体步骤为:① 称取1~3 g原状土壤样品放入烧杯;② 加入10 mL浓度为10%的 H_2O_2 溶液,并放置在电热板上加热至无气泡溢出,以去除有机质及多余 H_2O_2;③ 待其冷

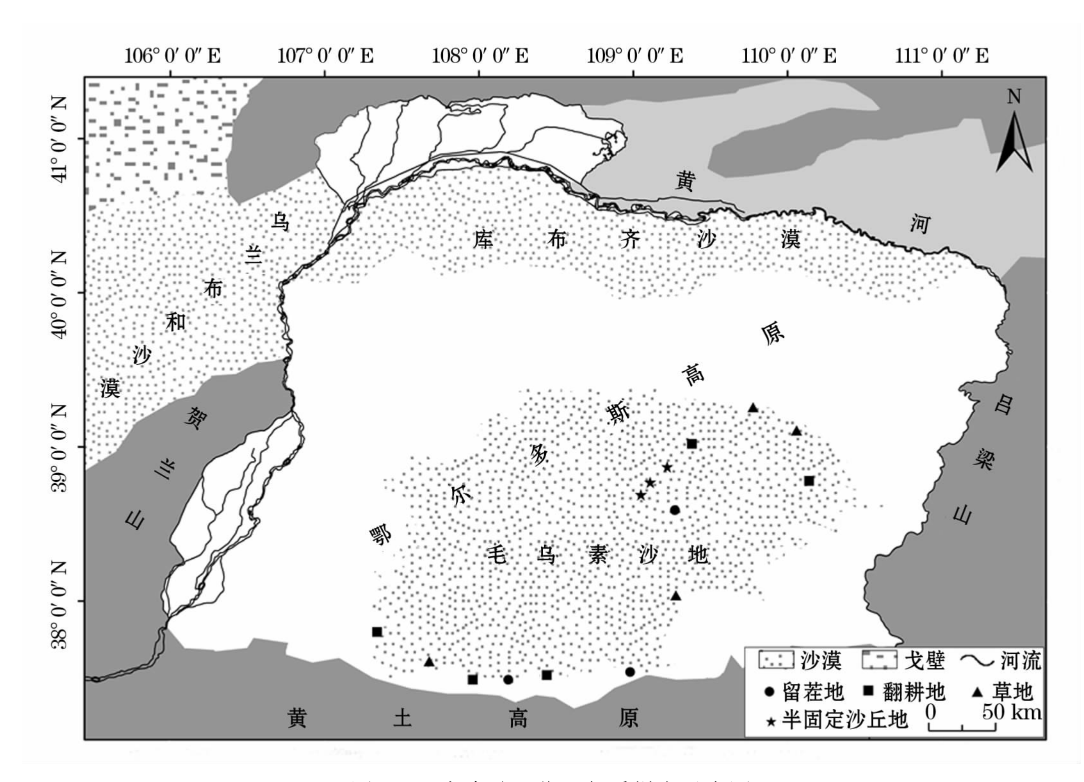


图1 毛乌素沙地位置与采样点示意图

Fig. 1 The location of the Mu Us Sandland and the distribution of sampling sites

表 1　采样点位置及地表状况

Tab. 1　Locations of the sampling sites and conditions of the land surface

土地利用类型	样地编号	地理坐标	地表状况	土地利用类型	样地编号	地理坐标	地表状况
留茬地	LC－1	38.59°N,109.27°E	玉米留茬地,茬高约 10 cm	草地	CD－1	38.19°N,107.71°E	地表植被以针茅为主
	LC－2	37.54°N,108.98°E	荞麦留茬地,茬高 15～20 cm		CD－2	39.08°N,110.97°E	地表分布有油蒿、针茅等
	LC－3	37.52°N,108.44°E	向日葵留茬地,茬高约 50 cm		CD－3	39.23°N,110.17°E	地表分布有油蒿、狗尾草等
	LC－4	37.49°N,108.19°E	玉米留茬地,茬高约 10 cm		CD－4	38.03°N,109.27°E	地表分布有油蒿、针茅等
	LC－5	37.49°N,107.96°E	荞麦留茬地,茬高约 15 cm		CD－5	37.52°N,108.44°E	地表植被以针茅为主
翻耕地	FG－1	38.78°N,110.14°E	板蓝根翻耕地	半固定沙丘地	SQ－1	38.69°N,109.05°E	半固定沙丘,以油蒿群落为主,植被盖度约 30%
	FG－2	39.02°N,109.38°E	西瓜翻耕地		SQ－2	38.69°N,109.05°E	半固定沙丘,以油蒿群落为主,植被盖度约 20%
	FG－3	37.52°N,108.44°E	马铃薯翻耕地		SQ－3	38.69°N,109.05°E	半固定沙丘,以油蒿群落为主,植被盖度约 40%
	FG－4	37.49°N,107.96°E	荞麦翻耕地		SQ－4	38.77°N,109.11°E	半固定沙丘,以油蒿群落为主,植被盖度约 20%
	FG－5	37.80°N,107.34°E	玉米翻耕地		SQ－5	38.87°N,109.22°E	半固定沙丘,以油蒿群落为主,植被盖度约 30%

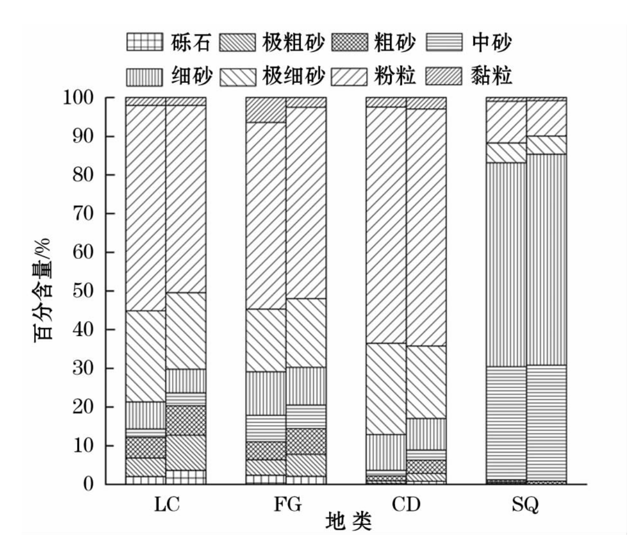
注:留茬地 LC－3、翻耕地 FG－3 和草地 CD－5 位置相邻,故使用一个中心地理坐标;留茬地 LC－5 与翻耕地 FG－4 毗邻,故使用一个中心地理坐标;半固定沙丘地 SQ－1、SQ－2 和 SQ－3 的位置临近,故使用一个中心地理坐标。

却后加入 10 mL 浓度为 10% 的 HCl 溶液,在电热板上加热至无气泡溢出,且颜色变为黄绿色,以去除次生碳酸盐类物质;④ 冷却后加入 100 mL 超纯水,静置 24 h,抽取上清液,除去过量酸,反复数次至中和;⑤ 加入 10 mL 摩尔浓度为 0.05 mol · L^{-1} 的 $(NaPO_3)_6$溶液作为分散剂,并置入超声波清洗器中震荡 10 min;⑥ 取烧杯中底浊物在 Mastersizer3000 激光粒度仪上进行测试。该仪器单量程检测范围 0.02～3 500 μm,重复测量误差小于 2%,每个样品重复测定 3 次,取其平均值作为该样品的测定结果,单位以体积百分比表示。土壤颗粒组成划分为砾石(>2 000 μm)、极粗砂(1 000～2 000 μm)、粗砂(500～1 000 μm)、中砂(250～500 μm)、细砂(100～250 μm)、极细砂(50～100 μm)、粉粒(2～50 μm)和黏粒(<2 μm)[19];土壤有机质采用 $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ 法测定[20];土壤粒度组分和有机质含量的相关分析采用 Pearson 相关系数法(IBM SPSS Statistics V20.0),所有结果采用软件 Origin 8.5 处理予以图示化。

2　结果与分析

2.1　土壤粒度特征

2.1.1　土壤粒度组分特征　研究区 4 种地类土壤粒度组成上有着明显差异(图 2)。就土壤表层(0～5 cm)而言,留茬地(LC)、翻耕地(FG)与草地(CD)粒度组成以粉粒为主。留茬地(LC),粉粒含量 53.09%,极细砂含量 23.50%,其余粒径含量均不足 10.00%;翻耕地(FG),粉粒含量 48.28%,极细砂含量 16.18%,细砂 11.28%,其余粒径含量较少;草地(CD),粉粒含量 61.06%,极细砂含量 23.57%,细砂含量 9.26%;半固定沙丘地(SQ)的细



注:LC 为留茬地,FG 为翻耕地,CD 为草地,SQ 为半固定沙丘地;柱状图的左侧为表层,右侧为亚表层。

图 2　不同地类土壤颗粒组分含量分布

Fig. 2　Distribution of soil particle composition in different land use types

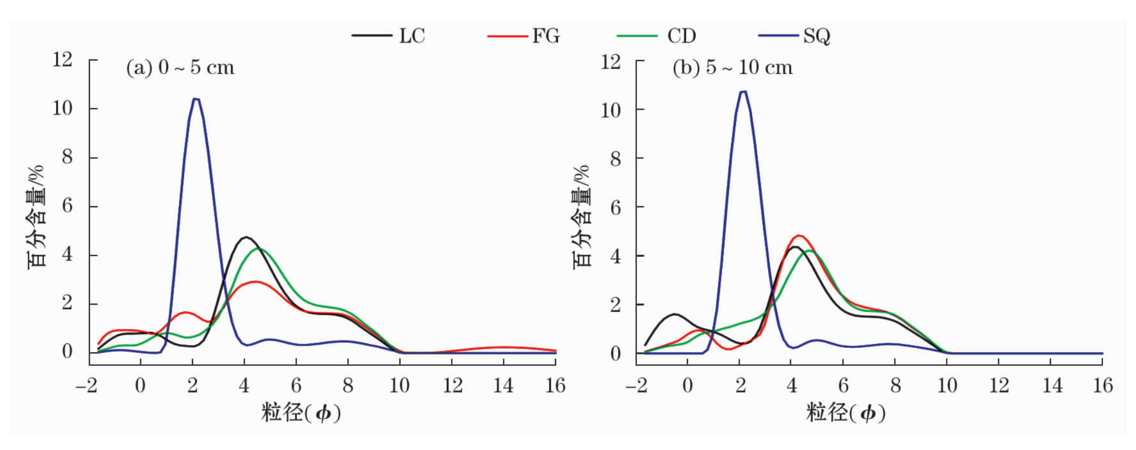
砂、中砂含量较多,分别为52.69%和29.32%,其余粒径含量较少。对土壤亚表层(5～10 cm)而言,留茬地、翻耕地、草地的土壤粒度组成以粉粒为主,含量依次呈现出草地(61.25%)>翻耕地(49.43%)>留茬地(48.42%);半固定沙丘地粒度组成仍以细砂为主,含量为54.53%。同一地类土壤的表层(0～5 cm)与亚表层(5～10 cm),主要粒级组分的含量也存在着差异。留茬地,表层与亚表层的优势组分均为粉粒,含量表现出表层(53.09%)>亚表层(48.42%),极细砂含量表层(23.50%)>亚表层(19.77%);翻耕地,粉粒含量表现为亚表层(49.32%)>表层(48.28%),极细砂含量表层(16.18%)<亚表层(17.74%);草地,表层的粉粒含量(61.06%)略低于亚表层(61.26%),极细砂含量表层(23.57%)>亚表层(18.76%);半固定沙丘地,表层细砂含量(52.69%)<亚表层(54.53%),中砂含量亚表层(29.91%)>表层(29.32%)。

不同地类土壤的表层(0～5 cm)和亚表层(5～10 cm),其相同粒级的组分含量存在明显的变化。草地的土壤表层(0～5 cm)与亚表层(5～10 cm),其细颗粒含量高于留茬地、翻耕地和半固定沙丘地;与草地相比,留茬地表层粉粒含量减少了7.97%,亚表层粉粒含量减少了12.84%;翻耕地的表层粉粒含量减少了12.78%,亚表层粉粒含量减少了11.83%;半固定沙丘地,表层与亚表层的粒度组成均以细砂为主,比其他3种地类粒度组成要粗些。由此可以看出,土壤颗粒各粒级的含量不仅在同一地类不同深度的垂向上存在差异,而且在不同地类同一深度的横向上也表现出差异性,这除受成土母质影响外,也与土地利用方式有关。

2.1.2 土壤粒度分布曲线特征 土壤颗粒频率分布曲线常用于分析颗粒大小分布情况,不仅可定性获取偏度、峰度等信息,还可以从曲线的波峰属性判断颗粒的沉积动力及物源情况。从4种地类土壤粒度分布曲线(图3)可以看出,对表层(0～5 cm)而言,半固定沙丘地(SQ)的土壤粒度分布呈较窄的单峰态,留茬地(LC)、翻耕地(FG)、草地(CD)的土壤粒度分布呈多峰态。按半固定沙丘地、留茬地、翻耕地、草地之顺序,粒度分布曲线上峰值逐渐偏向 Φ 值较大的一端,4种地类峰值对应的 Φ 值分别为2.06、4.08、4.27和4.45,反映出土壤表层粒径有逐渐变细的趋势。从土壤亚表层(5～10 cm)来看,半固定沙丘地仍呈较窄的单峰态,留茬地、翻耕地、草地表现为多峰态。按半固定沙丘地、留茬地、翻耕地、草地的顺序,粒度分布曲线上峰值逐渐偏向 Φ 值较大的细粒端,4种地类峰值对应的 Φ 值分别为2.24、4.08、4.27和4.63。不难看出,研究区4种地类表层(0～5 cm)与亚表层(5～10 cm)土壤颗粒均以草地粒径最细,半固定沙丘地粒径最粗,留茬地与翻耕地粒径介于两者之间。

2.2 土壤有机质特征

研究区土壤有机质的测试分析结果(表2)显示,4种地类土壤有机质含量为6.06～34.07 g·kg^{-1}。其中:① 留茬地,土壤表层含量为5.96～19.36 g·kg^{-1},平均值11.25 g·kg^{-1};土壤亚表层含量为6.52～24.96 g·kg^{-1},平均值13.05 g·kg^{-1},表现为表层有机质含量低于亚表层。② 翻耕地,土壤表层有机质含量为8.54～20.50 g·kg^{-1},



注:LC为留茬地;FG为翻耕地;CD为草地;SQ为半固定沙丘地。

图3 不同地类土壤粒度分布曲线

Fig. 3 Distribution curves of soil granularity in different land use types

表 2　不同地类土壤有机质含量

Tab. 2　Soil organic matter content in different land use types

样地类型	深度/cm	有机质含量/(g·kg⁻¹)					平均值/(g·kg⁻¹)
留茬地		LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	
	0~5	19.36	5.96	8.90	11.49	10.56	11.30
	5~10	24.96	6.53	10.59	12.04	11.15	13.05
翻耕地		FG-1	FG-2	FG-3	FG-4	FG-5	
	0~5	12.31	20.50	8.54	11.13	10.16	11.53
	5~10	12.37	21.70	10.32	10.80	8.16	12.67
草地		CD-1	CD-2	CD-3	CD-4	CD-5	
	0~5	15.43	19.16	11.00	34.07	14.14	18.75
	5~10	13.24	17.82	4.46	20.25	11.06	13.36
半固定沙丘地		SQ-1	SQ-2	SQ-3	SQ-4	SQ-5	
	0~5	7.49	6.06	12.87	7.14	7.10	8.13
	5~10	6.73	6.15	11.37	7.17	7.23	7.73

平均值 11.53 g·kg⁻¹,土壤亚表层含量为 8.16~21.70 g·kg⁻¹,平均值 12.67 g·kg⁻¹,呈现出土壤亚表层的有机质含量略高于表层。③ 草地,土壤表层含量为 11.00~34.07 g·kg⁻¹,平均值 18.75 g·kg⁻¹,土壤亚表层含量 4.46~20.25 g·kg⁻¹,平均值 13.36 g·kg⁻¹,土壤表层有机质含量明显高于亚表层。④ 半固定沙丘地,土壤表层有机质含量为 6.06~12.87 g·kg⁻¹,平均值 8.13 g·kg⁻¹,土壤亚表层含量为 7.73~11.37 g·kg⁻¹,平均值 7.73 g·kg⁻¹,表层的有机质略高于亚表层的含量。由此可以看出,4 种地类的土壤表层有机质含量表现出草地 > 翻耕地 > 留茬地 > 半固定沙丘地的规律,而土壤亚表层有机质含量则呈现出草地 > 留茬地 > 翻耕地 > 半固定沙丘地的规律。

2.3　土壤粒度组分与有机质的相关性

为了解研究区 4 种地类土壤颗粒与有机质之间的关系,利用 SPSS 软件对不同地类土壤有机质与粒级组分做相关分析(表 3 和图 4),予以揭示二者的相关性。由于 4 种地类土壤中砾石、极粗砂、粗砂含量均较少(图 2),故不参与统计分析。从表 3 可以看出,不同地类土壤有机质与土壤粒级含量的相关性有着明显差异。其中,留茬地(LC),有机质与粉粒相关系数为 0.556,呈显著正相关关系;翻耕地(FG),有机质与中砂相关系数为 0.895,呈极显著正相关,有机质与细砂相关系数为 0.905,呈极显著正相关关系,与粉粒相关系数为 -0.793,呈极显著负相关;草地(CD),土壤有机质与黏粒相关系数为 0.569,呈显著正相关;半固定沙丘地(SQ),土壤有机质与粉粒相关系数为 0.696,呈显著正相关关系。由此可知,研究区 4 种地类中,粉粒是留茬地、半固定沙丘地有机质积累与否的关键粒级,黏粒是草地有机质积累的优势粒级,翻耕地有机质积累与中砂、细砂粒级组分有关。

表 3　不同地类土壤有机质与粒度组分的相关性

Tab. 3　The correlation between soil mechanical composition and organic matter content

颗粒径级	留茬地(LC)	翻耕地(FG)	草地(CD)	半固定沙丘地(SQ)
中砂(0.5~0.25 mm)	-0.087	0.895**	0.199	0.052
细砂(0.25~0.10 mm)	0.023	0.905**	0.073	-0.323
极细砂(0.10~0.05 mm)	-0.480	-0.284	0.420	0.407
粉粒(0.05~0.02 mm)	0.556*	-0.793**	-0.502	0.696*
黏粒(<0.002 mm)	-0.372	-0.232	0.569*	-0.092

注:*表示在 0.05 水平上显著相关;**表示在 0.01 水平上显著相关。

3　讨论

土壤粒度和有机质是构成土壤综合体的重要组成部分,二者含量的多寡直接影响着土壤理化性质和结构的稳定性;同时,粒度组分与有机质之间有着相互关联性。在我国北方沙质荒漠化地区,通常黏粒含量较多的土壤,其有机质含量也相应较高;而有机质含量较高的土壤,其物理性质和结构也相对稳定[21]。土壤粒度组分及其分布特征主要受成土因

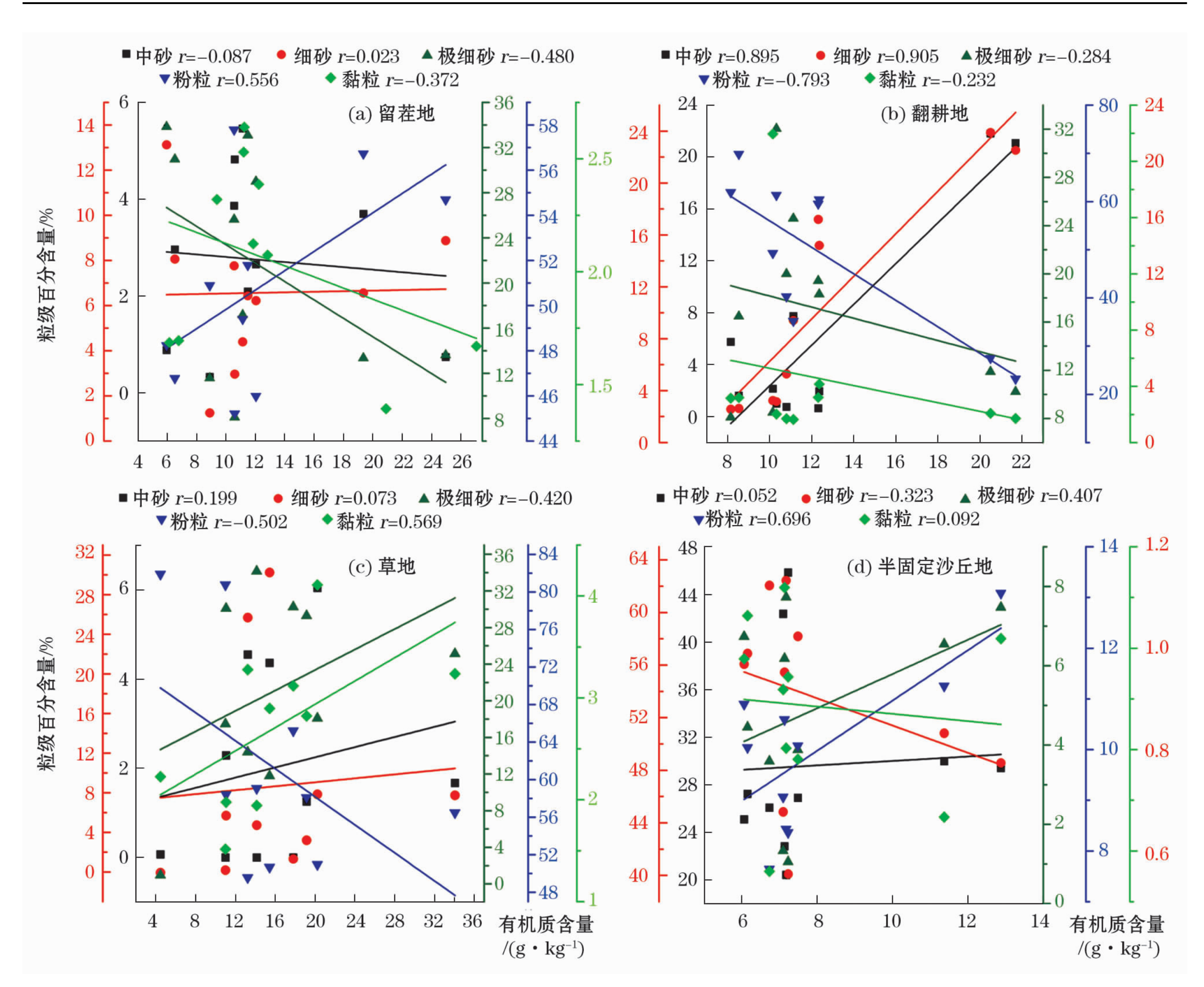


图4 不同地类土壤机械组成与有机质的相关性

Fig. 4 The correlation between soil mechanical composition and organic matter content in different land types

素的影响，人类活动如土地利用方式、耕作制度、土壤培肥等对其影响也很深刻，不同地类土壤的粒度组成及其分布特征、有机质含量变化存在差异是必然的。

研究区不同地类土壤粒度组成中粒级含量变化表现为：4种地类土壤表层（0～5 cm）和亚表层（5～10 cm）粒度组成中，除半固定沙丘地以细砂、中砂为主外，其他都是以粉粒（50～2 μm）和极细砂（50～100 μm）为主；其中，表层（0～5 cm）粉粒含量，留茬地为53.09%、翻耕地48.28%、草地61.06%；亚表层（5～10 cm）粉粒含量，留茬地为48.42%、翻耕地49.43%、草地61.25%。据李占宏等[22]对毛乌素沙地不同地类表土粒度的研究，耕地以黏粒（<2 μm）为主，林地粉粒（50～2 μm）含量最多，草地以极细砂（75～50 μm）为主，半固定沙丘、流动沙丘的表层颗粒组成均以中砂（700～250 μm）含量居多。高君亮等[8]研究认为，毛乌素沙地草地、耕地表层粒度组成以粉粒、极细砂为主，而沙丘地以细砂、中砂为主。笔者的研究，除半固定沙丘地外的草地、留茬地、翻耕地土壤表层粒度组成均以粉粒、极细砂为主，这与李占宏等[22]和高君亮等[8]的研究结果相类似，半固定沙丘地表层粒度组成均以细砂、中砂组分为主，其结果与舒培仙等[23]、沈亚萍等[24]的研究相类似。

不同地类土壤表层（0～5 cm）和亚表层（5～10 cm）的粒度组成存在差异。草地，表层（0～5 cm）粉粒含量略小于亚表层（5～10 cm），这与杨志勇等[25]对乌兰布和沙漠、张志栋等[26]对河北坝上草地土壤粒径的研究结果相似，原因主要在于草地的地表植被对大气降尘和细粒物质具有截存效应，其根系分泌的有机酸能改变土壤理化性质，增强土壤黏结性和结构的稳定性，也增强了地表的抗风蚀能力，并受

根系和生物结皮的影响,土壤颗粒趋于细化。留茬地,土壤表层粉粒和极细砂含量均大于亚表层,这与作物留茬能够降低风速、增加地表粗糙度、减弱风蚀强度有关,使得表层细颗粒组分含量较多[27]。翻耕地,土壤表层的粉粒含量较亚表层略少,与留茬地相比,表层的粉粒含量减少,这主要是由于不断地翻耕破坏了表层土壤结构,土体颗粒间黏滞力降低,加之地表无植被覆盖,冬春季节易受大风吹蚀[28]。沙丘表面粒度不仅是风力对源区沙物质搬运和分选作用的反映,也是沙丘表面风沙动力过程的重要记录[29],研究区半固定沙丘地的表层与亚表层粒度组分都是以细砂、中砂为主,含量相差不大,这主要与成土母质为风成沙有关。显然,荒漠化地区农田翻耕后土壤表层细粒物质流失,留茬地可有效减少细颗粒物质的损失。对4种地类土壤颗粒频率分布曲线分析表明,留茬地、翻耕地、草地土壤粒度分布为多峰态,反映出土壤颗粒分选性较差、物质搬运动力条件和物源的差异性,如风化残积物和河湖沉积物都可能是成土母质,李占宏等[22]对毛乌素沙地不同地类表层土壤粒度累积频率曲线分析也认为,其与物源和风蚀程度有关;而该区半固定沙丘地表层粒度分布呈单峰态,这与学者们[22-24]的研究结果相一致,说明物源和风营力的一致性。

土壤有机质是作物所需的各种养料的源泉,它能改善土壤的物理和化学性质,有机质含量的增加,能提高土粒间微结构的胶结力和土壤结构体间的抵抗离散力,从而增加土壤的抗风蚀能力[1];土地利用方式对土壤有机质的含量有明显的影响[30],在干旱半干旱地区土地利用不当易引起土壤风蚀,使土壤有机质含量降低。研究区4种地类土壤有机质含量存在差异。草地,土壤表层(0~5 cm)有机质含量大于亚表层(5~10 cm),且无论表层还是亚表层其含量均大于留茬地、翻耕地和半固定沙丘地。究其原因,一是草地植被减轻土壤风蚀,且大量枯落物残留地表被微生物分解为无机物后归还于土壤,使得有机质在土壤表层积聚;二是草地植被对降尘和细粒物质具有截存效应,有利于有机质在表层积累[2]。与草地相比,翻耕地、留茬地土壤表层(0~5 cm)与亚表层(5~10 cm)的有机质含量均较低。这是由于土壤有机质主要富集于细颗粒中,而细颗粒的损失则引起土壤有机质含量的降低[4],留茬地与翻耕地较草地更容易受风蚀影响,使土壤细颗粒被吹蚀,有机质含量随之降低;另外,机械耕作改变了土壤紧实度,使土壤温度与湿度发生变化,一定程度上促进了土壤呼吸作用,加速了土壤有机质的分解[31],有机质含量降低。耕作配肥措施可以增加土壤有机质含量,但土壤表层细颗粒物质遭受风蚀又降低了有机质的含量,二者之间的关系较为复杂,有待长期定位观测研究。半固定沙丘地,其土壤表层(0~5 cm)与亚表层(5~10 cm)的有机质含量均较低,这是因为土壤颗粒较粗,以细砂和中砂为主,吸附有机质的能力较弱,加之地表植被盖度较小,返还土壤的凋落物较少,故土壤有机质含量较低。

一般而言,土壤细颗粒对有机质的吸附和有机质的积累起着关键作用,二者之间存在着关联性,但不同地类的土壤粒度组成与有机质的相关性也存在差异。研究区4种地类中,留茬地、半固定沙丘地的土壤有机质与粉粒之间呈显著正相关关系,草地的土壤有机质与黏粒之间呈显著正相关关系。这种相关性在与毛乌素沙地类似的地区也有所体现,譬如,苏永中等[21]对科尔沁沙地不同沙化土地的农田有机质与粒度之间关系的研究,反映出有机质与砂粒呈负相关、与粉粒和黏粒呈正相关;呼伦贝尔沙质草地土壤有机质与粉粒和黏粒之间呈显著正相关性[6],相关系数为0.896。杨梅焕等[12]对毛乌素沙地东南缘榆阳区、靖边、横山等地土壤表层(0~5 cm)粒度与有机质含量关系分析表明,黏粒含量与有机质之间存在显著相关性,在 $P<0.01$ 显著性水平上相关系数为0.920 2。这些事实说明,土壤细颗粒物质对有机质的吸附和积累具有重要作用。究其原因,一是单位体积的细颗粒土壤的比表面积大于单位体积的粗颗粒土壤,因此暴露出更多的正电荷位与带负电荷的腐殖质结合;二是土壤有机质易与细颗粒结合形成有机-无机复合体,且颗粒粒径越小,越易被腐殖质包裹;三是细颗粒键合的有机质更能抵抗微生物的分解,且细颗粒具有较差的孔隙度,这一特性使细颗粒一旦与有机质结合,则难以被微生物分解而易于积累。同时,也要考虑到土壤细颗粒对有机质积累的影响因素是多方面的,诸如粉粒与黏粒含量[32]、黏粒矿物种类及其性质[33]、土地利用方式[34]、气候因素[35]等。研究表明[2,21],与砂粒(>53 μm)结合的有机质对表层土壤中植物残体的积累和根系分布的变化较敏感,最易受土地利用方式尤其是耕作的影响。值得指出的是,研究区翻耕地有机质与细砂、极细砂呈极显著正相关,这说明翻耕地土壤有机质不稳定,易受风蚀和耕作配肥的

影响。

4 结 论

（1）研究区 4 种不同地类土壤粒度组分及参数特征存在显著差异。留茬地、翻耕地、草地地表下层优势粒级均为粉粒，表层含量表现为草地(61.06%)＞留茬地(53.09%)＞翻耕地(48.28%)，下层含量表现为草地(61.25%)＞翻耕地(49.43%)＞留茬地(48.42%)；半固定沙丘地的优势粒级为细砂，含量为表层(52.69%)＜亚表层(54.53%)。表明沙丘粒径最粗，草地粒径最细。

（2）研究区 4 种地类表层土壤有机质含量差异明显。草地土壤表层有机质含量较多，半固定沙丘地有机质含量最少。表层有机质含量总体上表现为草地＞翻耕地＞留茬地＞半固定沙丘地，亚表层表现为草地＞留茬地＞翻耕地＞半固定沙丘地。

（3）研究区 4 种地类有机质与粒度组分之间相关性分析表明，留茬地有机质与粉粒相关系数为 0.556，呈显著正相关关系；翻耕地，有机质与中砂相关系数为 0.895，呈极显著正相关，有机质与细砂相关系数为 0.905，呈极显著正相关关系；草地土壤有机质与黏粒相关系数为 0.569，呈显著正相关；半固定沙丘地有机质与粉粒相关系数为 0.696，呈显著正相关关系。表明土壤细颗粒对有机质有吸附作用，翻耕地土壤有机质不稳定，易受其他因素影响。

参考文献(References)：

［1］ 袁晓宇，海春兴，刘广通. 阴山北麓不同用地土壤有机质含量对抗风蚀的作用研究［J］. 水土保持研究，2007，14(6)：306－308.［Yuan Xiaoyu，Hai Chunxing，Liu Guangtong. Influence of different soil organic matters on resistance to wind erosion in North foot of the Yinshan Mountain［J］. Research of Soil and Water Conservation，2007，14(6)：306－308.］

［2］ 苏永中，赵哈林，文海燕. 退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响［J］. 水土保持学报，2002，16(4)：5－8.［Su Yongzhong，Zhao Halin，Wen Haiyan. Cultivation and enclosure effects on soil physicochemical properties of degraded sandy grassland［J］. Journal of Soil and Water Conservation，2002，16(4)：5－8.］

［3］ 吴建国，张小全，王彦辉，等. 土地利用变化对土壤物理组分中有机碳分配的影响［J］. 林业科学，2002，38(4)：19－29.［Wu Jianguo，Zhang Xiaoquan，Wang Yanhui，et al. The effects of land use changes on the distribution of soil organic carbon in physical fractionation of soil［J］. Scientia Silvae Sinicae，2002，38(4)：19－29.］

［4］ 赵哈林，周瑞莲，苏永中，等. 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量变化［J］. 生态学报，2008，28(3)：976－982.［Zhao Halin，Zhou Ruilian，Su Yongzhong，et al. Changes of soil organic cand total in contents as affected by desertification in Horqin Sandland，North China［J］. Acta Ecologica Sinica，2008，28(3)：976－982.］

［5］ 杨钦，郭中领，王仁德，等. 河北坝上不同土地利用方式对土壤风蚀的影响［J］. 干旱区资源与环境，2017，31(2)：185－190.［Yang Qin，Guo Zhongling，Wang Rende，et al. Influence of different land uses on soil wind erosion in Bashang area，Hebei，China［J］. Journal of Arid Land Resources and Environment，2017，31(2)：185－190.］

［6］ 赵哈林，周瑞莲，赵学勇，等. 呼伦贝尔沙质草地土壤理化特性的沙漠化演变规律及机制［J］. 草业学报，2012，21(2)：1－7.［Zhao Halin，Zhou Ruilian，Zhao Xueyong，et al. Desertification mechanisms and process of soil chemical land physical properties in Hulunbeir sandy grassland，Inner Mongolia［J］. Acta Prataculturа Sinica，2012，21(2)：1－7.］

［7］ 李海东，沈渭寿，邹长新，等. 雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征［J］. 生态学报，2012，32(16)：4 981－4 992.［Li Haidong，Shen Weishou，Zou Changxin，et al. Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan wide valley of the Yarlung Zangbo River，China［J］. Acta Ecologica Sinica，2012，32(16)：4 981－4 992.］

［8］ 高君亮，高永，罗凤敏，等. 表土粒度特征对风蚀荒漠化的响应［J］. 科技导报，2014，32(25)：20－25.［Gao Junliang，Gao Yong，Luo Fengmin，et al. Response of surface soil grain size characteristics to wind erosion desertification［J］. Science & Technology Review，2014，32(25)：20－25.］

［9］ 杨永胜. 毛乌素沙地生物结皮对土壤水分和风蚀的影响［D］. 杨凌：西北农林科技大学，2012.［Yang Yongsheng. Effects of Biological Soil Crusts on Soil Mmoisture and Wind Erosion in Mu Us Sandland［D］. Yangling：Northwest A & F University，2012.］

［10］ 符超峰，赵景波. 毛乌素沙地东南缘不同类型沙丘土壤水分分布特征［J］. 干旱区研究，2011，28(3)：377－383.［Fu Chaofeng，Zhao Jingbo. Distribution of soil moisture content in different types of sand dunes in the Southeastern marginal zone of the Mu Us Sandy Land［J］. Arid Zone Research，2011，28(3)：377－383.］

［11］ 王志，王蕾，刘连友，等. 毛乌素沙地南缘沙丘水分的时空分布特征［J］. 干旱区研究，2007，24(1)：61－65.［Wang Zhi，Wang Lei，Liu Lianyou，et al. Preliminary study on spatiotemporal distribution of moisture contents in sand dunes in the Southern marginal zone of the Mu Us Desert［J］. Arid Zone Research，2007，24(1)：61－65.］

［12］ 杨梅焕，曹明明，朱志梅，等. 毛乌素沙地沙漠化过程中土壤理化性质分析［J］. 水土保持通报，2010，30(2)：169－172.［Yang Meihuan，Cao Mingming，Zhu Zhimei，et al. Soil physical and chemical properties in the process of desertification on the Southeastern edge of Mu Us Sand Land［J］. Bulletin of Soil and Water

Conservation,2010,30(2):169－172.〕

〔13〕 雷金银,吴发启,马璠,等.毛乌素沙地土壤风蚀的气候因子分析〔J〕.水土保持研究,2007,14(2):104－105.〔Lei Jinyin,Wu Faqi,Ma Fan,et al. The analysis of climate factors effecting wind erosion in Maowusu Sandy Land〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2007,14(2):104－105.〕

〔14〕 黄富祥,牛海山,王明星,等.毛乌素沙地植被覆盖率与风蚀输沙率定量关系〔J〕.地理学报,2001,56(6):700－710.〔Huang Fuxiang,Niu Haishan,Wang Mingxing,et al. The relationship between vegetation cover and sand transport flux at Mu Us Sandland〔J〕. Acta Geographica Sinica,2001,56(6):700－710.〕

〔15〕 朱震达,吴正,刘恕,等.中国沙漠概论〔M〕.修订版.北京:科学出版社,1981.〔Zhu Zhenda,Wu Zheng,Liu Shu,et al. Introduction to Chinese Desert〔M〕. Revised Edition. Beijing:Science Press,1981.〕

〔16〕 杨永梅,杨改河,冯永忠.近45年毛乌素沙地的气候变化及其与沙漠化的关系〔J〕.西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(12):87－92.〔Yang Yongmei,Yang Gaihe,Feng Yongzhong. Climatic variation and its effect on desertification in 45 recent years in Mu Us sandland〔J〕. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition),2007,35(12):87－92.〕

〔17〕 徐丹丹,尹立河,侯光才,等.毛乌素沙地旱柳和小叶杨树干液流密度及其与气象因子的关系〔J〕.干旱区研究,2017,34(2):375－382.〔Xu Dandan,Yin Lihe,Hou Guangcai,et al. Relationships between sap flow densities in tree trunks of *Salix matsudana* and *Populus simonii* and meteorological factors in the Mu Us Sandland〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(2):375－382.〕

〔18〕 张惜伟,汪季,高永,等.呼伦贝尔沙质草原风蚀坑表层土壤粒度特征〔J〕.干旱区研究,2017,34(2):293－299.〔Zhang Xiwei,Wang Ji,Gao Yong,et al. Grain size characteristics of topsoil in blowouts on sandy grasslands in Hulun Buir〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(2):293－299.〕

〔19〕 成都地质学院陕北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用〔M〕.北京:地质出版社,1978:46－56.〔Chengdu Academy of Geology,North Shaanxi Team. Particle Size Analysis of Sedimentary Rocks and Its Application〔M〕. Beijing:Geological Publishing House,1978:46－56.〕

〔20〕 南京农学院.土壤农化分析〔M〕.北京:农业出版社,1985:31－52.〔Nanjing College of Agriculture. Soil and Agriculture Chemistry Analysis〔M〕. Beijing:Agriculture Press,1985:31－52.〕

〔21〕 苏永中,赵哈林.农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究〔J〕.中国农业科学,2003,36(8):928－934.〔Su Yongzhong,Zhao Halin. Losses of soil organic carbon and nitrogen and their mechanisms in the desertification process of sandy farmlands in Horqin Sandy Land〔J〕. Scientia Agricultura Sinica,2003,36(8):928－934.〕

〔22〕 李占宏,海春兴,丛艳静.毛乌素沙地表土粒度特征及其空间变异〔J〕.中国水土保持科学,2009,7(2):74－79.〔Li Zhanhong,Hai Chunxing,Cong Yanjing. Topsoil particle-size distribution and its spatial variation in Mu Us Desert〔J〕. Science of Soil and Water Conservation,2009,7(2):74－79.〕

〔23〕 舒培仙,牛东风,李保生,等.毛乌素沙地现代沙丘沙的粒度特征及其意义〔J〕.中国沙漠,2016,36(1):158－166.〔Shu Peixian,Niu Dongfeng,Li Baosheng,et al. Grain size characteristics of modern dune sand and its significance in the Mu Su Sandy Land,China〔J〕. Journal of Desert Research,2016,36(1):158－166.〕

〔24〕 沈亚萍,张春来,李庆,等.中国东部沙区表层沉积物粒度特征〔J〕.中国沙漠,2016,36(1):150－157.〔Shen Yaping,Zhang Chunlai,Li Qin,et al. Grain-size characteristics of surface sediments in the Eastern Desert Regions of China〔J〕. Journal of Desert Research,2016,36(1):150－157.〕

〔25〕 杨志勇,陈新闯,郭建英,等.乌兰布和沙漠不同土地利用类型粒度特征分析〔J〕.中国水土保持,2015(7):50－53.〔Yang Zhiyong,Chen Xinchuang,Guo Jianying,et al. Grain size characteristics of different land use types in Ulanbuh Desert〔J〕. Soil and Water Conservation in China,2015(7):50－53.〕

〔26〕 张志栋,常春平,郭中领,等.河北坝上农田、退耕地和天然草地土壤的可风蚀性〔J〕.中国沙漠,2018,38(1):85－91.〔Zhang Zhidong,Chang Chunping,Guo Zhongling,et al. Soil Wind erodibility of farmland,abandonded farmland and glassland in the Bashang Area of Hebei,China〔J〕. Journal of Desert Research,2018,38(1):85－91.〕

〔27〕 刘目兴,刘连友.农田休闲期作物留茬对近地表风场的影响〔J〕.农业工程学报,2009,25(9):295－300.〔Liu Muxing,Liu Lianyou. Effect of crop stubble on wind field above field surface during fallow period of cropland〔J〕. Transactions of the CSAE,2009,25(9):295－300.〕

〔28〕 董光荣,李长治,金炯,等.关于土壤风蚀风洞模拟实验的某些结果〔J〕.科学通报,1987,32(4):297－301.〔Dong Guangrong,Li Changzhi,Jin Jiong,et al. Some results on wind tunnel simulation experiments of soil erosion〔J〕. Science Bulletin,1987,32(4):297－301.〕

〔29〕 庞营军,屈建军,牛清河,等.敦煌月牙泉景区沙丘表面沙物质的粒度特征〔J〕.干旱区研究,2017,34(3):701－706.〔Pang Yingjun,Qu Jianjun,Niu Qinghe,et al. Grain size characters of dune surface sediment in the crescent spring scenic spot,Dunhuang〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(3):701－706.〕

〔30〕 王清奎,汪思龙,高洪,等.土地利用方式对土壤有机质的影响〔J〕.生态学杂志,2005,24(4):6－9.〔Wang Qingkui,Wang Silong,Gao Hong,et al. Influence of land use on soil organic matter〔J〕. Chinese Journal of Ecology,2005,24(4):6－9.〕

〔31〕 乔有明,王振群,段中华.青海湖北岸土地利用方式对土壤碳氮含量的影响〔J〕.草业学报,2009,18(6):105－112.〔Qiao Youming,Wang Zhenqun,Duan Zhonghua. Effect of different land-use types on soil carbon and nitrogen contents in the Northern Region of Qinghai Lake〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2009,18(6):105－112.〕

〔32〕 Six J,Christian Feller,Karolien Denef,et al. Soil organic matter,biota and aggregation in temperate and tropical soils:Effects of no-tillage〔J〕. Agronomic,2002,22:755－775.

〔33〕 Haider K, Kastanienallee, Guggenberger. Soil minerals and organic components: Impact on biological processes, human welfare and nutrition〔J〕. Thailand, 2002, 8: 314 – 321.
〔34〕 Feller C, Beare M H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics〔J〕. Geoderma, 1997, 79: 69 – 116.
〔35〕 Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles〔J〕. Plant Soil, 1997, 191: 77 – 87.

Soil Particle Size and Organic Matter Content of Different Land Use Types in the Mu Us Sandland

MAO Li[1], SU Zhi-zhu[2], WANG Guo-ling[1], MA Yi-juan[3], LI Xiang[1]
(1. *College of Environmental and Resources Sciences, Shanxi University, Taiyuan* 030006, *Shanxi, China*;
2. *College of History and Culture, Shanxi University, Taiyuan* 030006, *Shanxi, China*;
3. *College of Geographical Science, Taiyuan Normal University, Jinzhong* 030619, *Shanxi, China*)

Abstract: In the Mu Us Sandland, the ecological environment is fragile, the soil wind erosion is serious, and the sandland is one of the key areas for desertification control in the sand source area of Beijing-Tianjin zone. In this paper, the soil granularity, organic matter content and their relationship under different land use patterns were studied so as to provide the basic data and the scientific basis for rational land use and desertification control. Through the field investigation in the Mu Us Sandland, the topsoil samples were collected from four land use types, i. e. the semi-fixed dune land, stubble land, ploughed land and grassland. The grain size and organic matter content of soil were analyzed, and the relationship between soil organic matter content and soil particle size distribution was discussed. The results showed that: ① Silt (0.002 – 0.05 mm) was dominant in stubble land, ploughed land and grassland, and its content in topsoil was in an order of grassland (61.06%) > stubble land (53.09%) > ploughed land (48.28%), and that in sub-surface layer was in an order of grassland (61.25%) > ploughed land (49.43%) > stubble land (48.42%). Fine sand (0.1 – 0.25 mm) was dominant in semi-fixed dune land, its content was 52.69% in topsoil and 54.53% in sub-surface layer; ② Soil organic matter content in topsoil was generally in an order of grassland ($18.75\ g \cdot kg^{-1}$) > ploughed land ($12.53\ g \cdot kg^{-1}$) > stubble land ($11.25\ g \cdot kg^{-1}$) > semi-fixed dune land ($8.13\ g \cdot kg^{-1}$), and that in sub-surface layer was in an order of grassland ($13.36\ g \cdot kg^{-1}$) > stubble land ($13.05\ g \cdot kg^{-1}$) > ploughed land ($12.67\ g \cdot kg^{-1}$) > semi-fixed dune land ($7.73\ g \cdot kg^{-1}$); ③ Correlation analysis of soil granularity and organic matter content showed that there was a significant positive correlation between organic matter content and silt content in stubble land and semi-fixed dune land, and a very significant positive correlation between organic matter content and moderate sand and fine sand in ploughed land, which revealed that the soil organic matter content in ploughed land was unstable and easily affected by other factors.

Key words: soil particle size; soil organic matter content; land use type; Mu Us Sandland